Aus der Medizinischen Poliklinik der Medizinischen Akademie Düsseldorf (Direktor: Prof. Dr. H. W. Knipping) und der Medizinischen Poliklinik der Universität Marburg an der Lahn (Direktor: Prof. Dr. F. Klewitz).

Ueber die Sauerstoffspannung des venösen Mischblutes im Trainingszustand

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades in der gesamten Medizin der Hohen Medizinischen Fakultät der Universität Marburg

vorgelegt von

Franz Peters

Medizinalpraktikant aus Erkelenz.

MARBURG 1939.

Druck mit Genehmigung der Fakultät.

Angenommen von der Medizinischen Fakultät zu Marburg
am 8. 5. 1939.

Referent: Dozent Dr. Habs,
Correferent: Professor Dr. Klewitz.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Druck: J. Brandts, Buchdruckerei u. Verlag K.-G. Erkelenz.

Ueber die Sauerstoffspannung des venösen Mischblutes im Trainingszustand.

Von
FRANZ PETERS.

Mit 4 Textabbildungen.

Inhaltsübersicht.

Seite
A. Einleitung und Methodik 3
B. Experimentelle Untersuchungen . . . . . .
I. Anordnung der Ruheversuche 4
II. Anordnung der Arbeitsversuche 6
C. Ergebnisse der Ruhe und Arbeitsversuche . . . . . 9 u. 11
Zusammenfassung 12
Literaturverzeichnis 13

A. Einleitung und Methodik.

Das Herzminutenvolumen gibt dem Arzt, speziell dem Sport- oder Truppenarzt wichtige Hinweise auf den Leistungszustand des Kreislaufs. Die Errechnung des Herzminutenvolumens (H.M.V.) ist (Ficksches Prinzip) ohne weiteres möglich, wenn die Sauerstoffaufnahme in den Lungen und die arterio-venöse Differenz des Blutes bekannt sind. Von diesen Werten kann die Sauerstoffaufnahme direkt mit dem Knipping'schen Gasstoffwechselapparat bestimmt werden. Die arterio-venöse Differenz des Blutes ist praktisch nur indirekt zu bestimmen, da eine Punktion des rechten Herzens, zumal während der Arbeit, ein zu großes Gefahrenmoment darstellen würde. Zur Berechnung der arterio-venösen Differenz ist die Kenntnis der Sauerstoffspannung des arteriellen und venösen Blutes notwendig. Die Bestimmung der arteriellen Sauerstoffspannung kann direkt durch Arterienpunktion erfolgen. Diese technisch nicht einfache und auch nicht ganz ungefährliche Methode läßt sich nach einem Vorschlag von Knipping dadurch umgehen, daß man die direkte Bestimmung der arteriellen Sättigung durch die Bestimmung der Totalkapazität er-

setzt. Dies läßt sich so ausführen, daß man venöses Blut an der Luft schüttelt und dann gasanalytisch den Sauerstoffgehalt bestimmt. In Ruhe schließt dieses Verfahren einen kleinen Fehler ein, insofern beim Normalen arterielles Blut noch Sauerstoff (3—5%) aufnehmen könnte, während bei der Arbeit eine Totalaufsättigung vorhanden ist. Die Sauerstoffbestimmung des venösen Mischblutes wird durchgeführt, indem man eine nach dem Versuch entnommene Blutmenge mit venöser Alveolarluft (Pleschverfahren) schüttelt. Der Sauerstoffgehalt dieses Blutes wird dann durch direkte Blutgasanalyse bestimmt. Der Wert ergibt den Sauerstoffgehalt des venösen Mischblutes. Somit ist eine brauchbare Methode vorhanden, um in Ruhe und bei Muskelarbeit auf die vom Herzen geleistete Arbeit zu schließen. In einer bereits veröffentlichten Arbeit habe ich auf die Fehlermöglichkeiten hingewiesen.

Anordnung der Ruheversuche.

Venöse Alveolarluft läßt sich im Ruheversuch ohne Schwierigkeiten gewinnen. Man nimmt ein T—förmiges Rohr. Auf einen Schenkel des Rohres wird ein mit 3 Liter Stickstoff gefüllter Gummibeutel aufgezogen. An den gegenüberliegenden Schenkel wird ein Zunt'sches Mundstück angebracht. Das Mundstück wird nach Aufsetzen einer Nasenklemme eingeführt. Zunächst atmet die Versuchsperson durch den freien Schenkel Außenluft. Nach einer Exspiration wird der freie Schenkel verschlossen und der Weg zum Beutel hin geöffnet. Jetzt atmet die Versuchsperson die in dem System Lunge-Beutel vorhandene Gasmenge ein und aus. Nach eingetretener Durchmischung erfolgt der Spannungsausgleich zwischen dem Lungenblut und der Systemluft. Hierzu seien einige Erwägungen angebracht: der beschriebene Versuch muß innerhalb einer Kreislaufzeit liegen. Da in der kurzen Zeit eine Durchmischung von Lungenrestluft und Stickstoff nicht vollkommen eintreten könnte, läßt sich durch geringe Vertiefung der Atmung die Durchmischung ohne nennenswerte Fehlerquelle erreichen. Läßt man die Versuchsperson je 10 Sek., je 20 Sek., ja 30 Sek. usw. in den Beutel atmen, ergeben die in dem Gas-

gemisch gefundenen Sauerstoffwerte nach erfolgtem Spannungsausgleich eine Niveaubildung. Wird die Versuchsdauer weiter ausgedehnt, bricht die Niveaubildung ab. Das Absinken der Sauerstoffwerte ist durch die Beendigung einer Kreislaufzeit bedingt. Das in der Peripherie tiefer als normal ausgeschöpfte Blut nimmt nach der Rückkehr in die Lungen weiter Sauerstoff auf. Aus den Abbildungen 1 und 2 geht die Niveaubildung deutlich hervor. Man trifft jedoch bei einer Versuchsdauer von 37—45 Sek. (s. Abb. 1 u. 2) stets eine Niveaubildung an und kann bei der genannten Versuchsdauer die Sauerstoffspannung des venösen Mischblutes mit Sicherheit bestimmen.

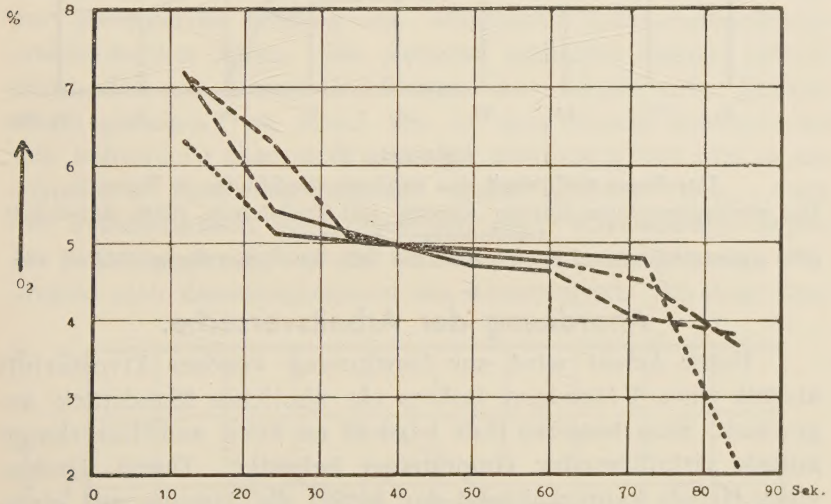

Abbildung 1

Der Sauerstoffgehalt des venösen Mischblutes in Ruhe.

Die wiedergegebenen Kurven wurden von einer Versuchsperson gewonnen. (Die ausgezeichneten Linien geben die Zeit der Spannungsgleichheit an).

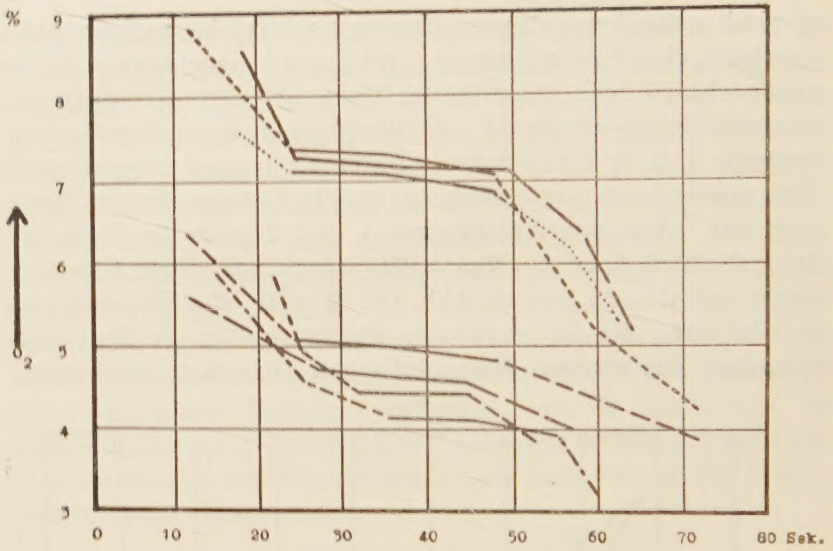

Abbildung 2

Der Sauerstoffgehalt des venösen Mischblutes in Ruhe.

Die wiedergegebenen Kurven wurden von Trainierten (tiefe Sauerstoffausschöpfung) gewonnen.
(Die ausgezeichneten Linien geben die Zeit der Spannungsgleichheit an).

Anordnung der Arbeitsversuche.

Unter Arbeit wird zur Gewinnung venöser Alveolarluft anstatt eines T-förmigen Rohres ein ähnliches Mundstück angewandt. Zum besseren Halt wird es an Stirn und Hinterhaupt mittels zirkulierender Gummizüge befestigt. Durch Drehen eines Hebels kann während der Arbeit die Atmung auf einen mit 3 Liter Stickstoff gefüllten Gummibeutel umgeschaltet werden. Um auch gleichzeitig die Sauerstoffaufnahme bestimmen zu können, wird das Mundstück mittels Gummischläuchen an den Knipping'schen Gasstoffwechselapparat angeschlossen. Alle bisher zur Feststellung einer Muskelarbeit angewandten Methoden sind ungenau. So hat zum Beispiel das Fahrradergometer den Nachteil, daß neben einer ungewohnten Arbeit eine zu große Fehlerquelle vorhanden ist, insofern beim Bremsen durch mechanischen Widerstand der Reibungskoeffizient

nicht konstant gehalten werden kann; beim Bremsen durch den elektrischen Strom ist infolge der dauernd schwankenden Spannungen des Stromnetzes der Widerstand und so die Arbeitsleistung verschieden. Knipping hat ein Ergometer angegeben, bei dem eine Handkurbel einen Dynamo in Tätigkeit setzt. Der vom Dynamo erzeugte Strom kann durch einen Widerstand teilweise oder ganz, je nach Regulierung des Widerstandes, zerstört werden, daß die Arbeitsleistung genau abgestuft und gemessen werden kann.

Die Gewinnung venöser Alveolarluft geht im Arbeitsversuch unter besonders günstigen Umständen vonstatten, weil das Exspirium größer, die Lungenrestluft kleiner, und infolge der gesteigerten Atmung ein schnellerer Spannungsausgleich erzielt werden kann. Ein weiterer günstiger Faktor besteht darin, daß die Sauerstoffaufnahme des Blutes unter Muskelarbeit gesteigert ist, sodaß der in dem System Beutel-Lunge sich befindliche Sauerstoff schneller abtransportiert und so ein schnellerer Spannungsausgleich erzielt werden kann. Auch der Arbeitsversuch muß innerhalb einer Kreislaufzeit liegen. Da während der Arbeit die umlaufende Blutmenge steigt, verlängert sich dementsprechend die Kreislaufzeit. Bei einer kon-

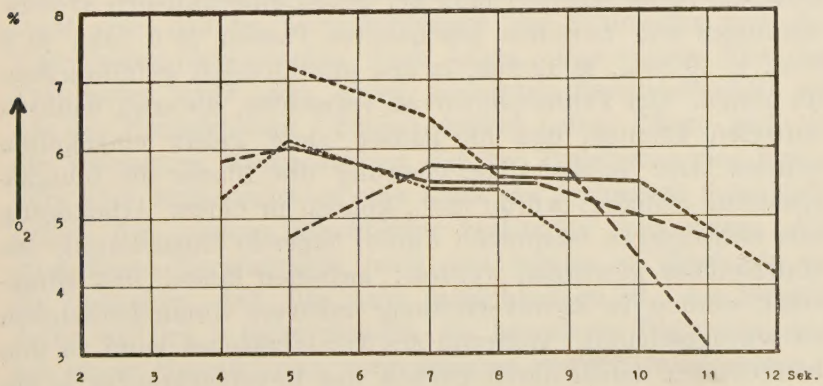

Abbildung 3

Der Sauerstoffgehalt des venösen Mischblutes bei Muskelarbeit.

Die wiedergegebenen Kurven wurden von Trainierten gewonnen. (Die ausgezeichneten Linien geben die Zeit des Spannungsausgleiches an.)

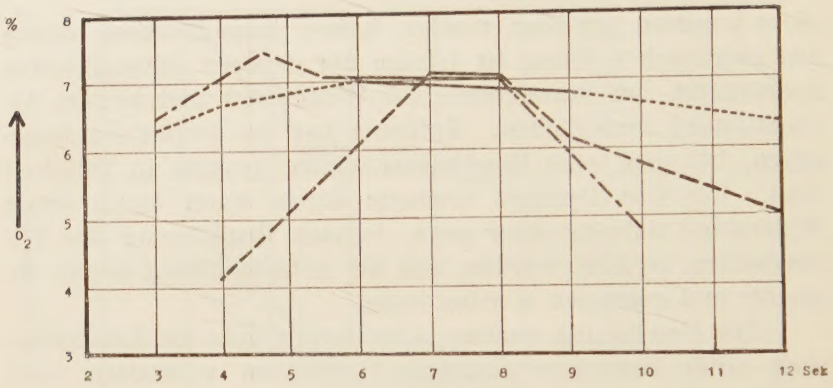

Abbildung 4

Der Sauerstoffgehalt des venösen Blutes bei Muskelarbeit.

Die wiedergegebenen Kurven wurden von Untrainierten gewonnen. (Die ausgezeichneten Linien geben die Zeit des Spannungsausgleiches an.)

stanten Arbeitsleistung schwankt die Beutelatmungszeit für jede Versuchsperson innerhalb gewisser Grenzen, je nachdem Sauerstoffaufnahme und Herzminutenvolumen variieren. Im allgemeinen lag die Zeit des Spannungsausgleiches zwischen 8 und 12 Sekunden (s. Abb. 3 u. 4). Um mit Sicherheit venöse Alveolarluft zu gewinnen, muß die Beutelatmung unbedingt bis zum Spannungsausgleich durchgeführt werden, das heißt, die Versuchsperson muß bei genau eingehaltenen Arbeitsleistungen und zwischen geschalteten Pausen je 6 Sek., je 8 Sek., je 10 Sek., je 12 Sek. in den mit Stickstoff gefüllten Beutel atmen. Um Fehlerquellen zu vermeiden, die etwa dadurch auftreten könnten, daß die Pausen nicht genau eingehalten würden oder infolge Uebersäuerung des Blutes die Blutgasspannung geändert würde usw., können in einem Arbeitsgang alle notwendigen Gasproben durch folgende Umänderung des Mundstückes gewonnen werden: zwischen Beutel und Mundstück werden in Revolverstellnng mehrere Gummibeutelchen zwischengeschaltet. Während des Atemversuches kann zu den betreffenden Zeiten durch Drehen des Revolverkranzes je ein Beutelchen mit Luft aus dem System Beutel-Lunge gewonnen werden. Als Versuchspersonen wurden Militärflieger und Studenten herangezogen.

Ergebnisse der Ruheversuche.

Abbildung 1 gibt 3 Kurven wieder, die von gleicher Versuchsperson in Ruhe gewonnen wurden. Die ausgezeichneten Linien zeigten die Niveaubildungen = Zeit des Spannungsausgleiches an. Die Niveaubildungen sind deutlich zu erkennen und liegen zwischen 37 und 60 Sekunden. Innerhalb der Niveaus ist ein geringes Sinken der Sauerstoffwerte zu erkennen, das bedingt sein dürfte durch das aus dem Koronarkreislauf in die Lungen früher zurückströmende Blut und durch den Axialstrom in den Blutgefäßen selbst. Dieses Blut, das eher in das rechte Herz und somit in die Lungen gelangt, ist im Sauerstoffgehalt tiefer ausgeschöpft und vermag in den Lungen noch Sauerstoff aufzunehmen. Daß die Blutmenge nur gering ist, zeigt der mäßige Abfall des Niveaus. Es ist ratsam, auch diesen Faktor zu berücksichtigen und die Atmungszeit in Ruhe auf 37—45 Sek. zu legen. Dann ist unbedingt garantiert, daß die gewonnene Alveolarluft der Sauerstoffspannung des venösen Mischblutes entspricht.

Abbildung 2 gibt ebenfalls Sauerstoffwerte des venösen Mischblutes wieder, die in Ruhe gewonnen wurden. Zum Atmungsversuch hatte ich Trainierte und Untrainierte herangezogen. Beim Eintragen der Sauerstoffwerte in das Diagramm ergab sich, daß die Niveaubildungen der Trainierten und der Untrainierten verschieden hoch lagen. Das venöse Blut der Trainierten hatte stets einen niedereren Sauerstoffgehalt als das der Untrainierten. Bereits früher hatten Zäper und ich die Vermutung ausgesprochen, daß bei Trainierten eine besonders gute Blutausnützung und somit ein geringerer Sauerstoffgehalt des venösen Mischblutes vorhanden sein müsse. Ich ging diesen Vermutungen nach und bewies an Hand von ca. 60 Versuchen, daß dies auch tatsächlich so ist. Als Beispiel dafür will ich 2 Ruheversuche, die bei einem Trainierten und bei einem Untrainierten vorgenommen wurden, wiedergeben.

	Trainiert	Untrainiert
Venöse Alveolarluft:		
a) 0_2 mm Hg	30,0	41,0
b) $C0_2$ mm Hg	57,5	57,4
Venöse Mischblutausnutzung in %:	40,6	32,3
Totalkapazität in %:	21,6	17,64
0_2 Gehalt pro Liter Blut in ccm:	87,3	57,0
0_2 Aufnahme in ccm:	367,0	277,0
Schlagfrequenz:	64	72
Schlagvolumen:	65,6	64,0
H. M. V. in Liter:	4,2	4,86

Die Tabelle weist beim Trainierten eine geringere Sauerstoffspannung des venösen Mischblutes auf. Dementsprechend muß die Blutausnützung beim Trainierten größer sein. Obwohl beim Trainierten eine höhere Sauerstoffspannung gefunden wurde, ist im Gegensatz zum Untrainierten ein kleines H. M. V. vorhanden. Diese Regulation bedingt eine Entlastung des Herzens. Dies würde keinesfalls eintreffen, wenn eine im Training geschaffene Bradykardie durch eine Vergrößerung des Schlagvolumens ersetzt würde. Die Erklärung für die geringeren Sauerstoffspannungen des venösen Mischblutes der Trainierten ist allein darin zu suchen, daß das Blut in der Peripherie besser ausgenützt werden kann. Dies ist nur dann möglich, wenn die Sauerstoffabgabe in den Geweben erleichtert wird. Bei der Arbeit ist schon eine höhere Blutausnutzung dadurch bedingt, daß die in Ruhe oder teilweise geschlossenen Kapillaren geöffnet werden. Ist dagegen schon in Ruhe eine erhöhte Sauerstoffabgabe an die Gewebe vorhanden, so müssen mehr Kapillaren geöffnet oder mehr gebildet worden sein. Daß dem so ist, beweisen auch die Untersuchungen von Krogh und

anderen, die nachwiesen, daß bei Muskelarbeit mehr Kapillaren gebildet werden. In diesem Zusammenhang möchte ich erwähnen, daß für die erhöhte Blutausnutzung auch in etwa die Verschiebung der Wasserstoffionenkonzentration im Gefolge der Trainingsalkalose verantwortlich zu machen ist. Denn es erscheint durchaus vorstellbar, daß die Dissoziationskurve im Blut des Trainierten anders verläuft, wobei in erster Linie an einen Einfluß der geänderten ionalen Zusammensetzung zu denken wäre.

Es muß auch die Frage erörtert werden, wie die Diffusionsverhältnisse liegen, wenn durch erhöhtes Training das Blut in der Peripherie noch tiefer als normalerweise ausgenützt wird. Die Gefahr, daß das Diffusionsgefälle zu gering wird, um den notwendigen Sauerstoff an die Gewebe abzugeben, besteht nicht. Für die Sauerstoffabgabe ist neben dem Angebot der Sauerstoffdruck maßgebend. Je mehr Kapillaren angelegt sind, desto kleiner wird die Sauerstoffversorgungsfläche einer jeden Kapillare. Somit besteht keine Gefahr, daß, wenn im erhöhten Trainingszustand der Sauerstoffdruck des venösen Blutes tiefer sinkt, den Geweben nicht genügend Sauerstoff zur Verfügung steht.

Ergebnisse der Arbeitsversuche.

Zu diesen Versuchen wurden wiederum Trainierte und Untrainierte herangezogen. Abbildung 3 und 4 geben die Ergebnisse wieder: entsprechend der gesteigerten Lungenventilation bei Muskelarbeit erfolgte der Spannungsausgleich zwischen den Gasen des venösen Mischblutes und den des Beutelsystems schneller. Die Zeit der Spannungsgleichheit war kürzer. Wie bei den Ruheversuchen der Trainierten eine erhöhte Sauerstoffausnutzung vorhanden war, war auch bei Muskelarbeit die Sauerstoffausnützung im venösen Mischblut Trainierter besser (s. Abb. 3). Hinzu kommt auch noch die Tatsache, daß bei Muskelarbeit das venöse Blut vollkommen arterialisiert wird.

Die Kenntnis über die Sauerstoffspannung des venösen Mischblutes vermag auch in der Frage, ob sich im Trainingszustand Dilatation, aktive Erweiterung oder eine Hypertrophie des Herzens einstellt, klärend zu wirken. Bei gleichzeitig vorgenommener Durchleuchtung der betreffenden Versuchspersonen zeigten sich keine wesentlichen Vergrößerungen des Herzens, es muß jedoch hinzugefügt werden, daß die von mir untersuchten Versuchspersonen bisher Sport in natürlichen Grenzen betrieben hatten. Es ist wohl die Annahme berechtigt, daß bei nicht übertriebenem Sport eine Entlastung des Herzens schon durch bessere Kapillarisierung bedingt sein kann.

Zusammenfassung.

1) Die Kenntnis der Sauerstoffspannung des venösen Mischblutes ist eine wichtige Größe zur Beurteilung der Kreislauffunktion.

2) Zur Gewinnung der venösen Alveolarluft wird eine Methode angegeben, die es ermöglicht, unter Anwendung des Pleschverfahrens in Ruhe und bei Muskelarbeit venöse Alveolarluft zu gewinnen.

3) Die Beutelatmungszeit beträgt in Ruhe 37—45 Sekunden. Bei Muskelarbeit ist die jeweilige Versuchszeit entsprechend der Lungenventilation, Sauerstoffaufnahme kürzer.

4) Bei Trainierten fanden sich bei einer größeren Sauerstoffaufnahme ein geringerer Sauerstoffgehalt des venösen Mischblutes und ein kleineres H. M. V. Diese Regulation wird als Einfluß des Trainings angesehen; sie dürfte eine Entlastung des Herzens in Ruhe und auch bei Muskelarbeit bedingen.

Herrn Professor Dr. H. W. Knipping möchte ich für die Überlassung des Themas und für die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit, Herrn Dozent Dr. H. Habs für wertvolle Anregungen meinen Dank aussprechen.

Literaturverzeichnis.

W. Borgard: Beitrag zur Funktionsprüfung von Herz und Kreislauf. Klin. Wochenschrift. Jahrg. 17, Nr. 3.

H. Gilbeau, H. Marzahn, G. Zäper: Klinische Untersuchungen über die Funktion von Atmung und Kreislauf bei Gesunden und Kranken. Zeitschr. f. klin. Medizin, Band 129, Heft 2 und 3.

R. Herbst: Physiologische Arbeiten, Sportärztl. Mitteilungen, Jahrgang 1927, Nr. 2.

H. Herxheimer: Beiträge zur Entstehung des Trainingszustandes, Zeitschr. f. klin. Medizin, Band 103, Heft 5 u. 6.

H. Herxheimer: Dilatation, aktive Erweiterung oder Hypertrophie des Herzens beim Sport. Klin. Wochenschr. Jahrgang 5, Nr. 17.

H. Knipping: Zur Analyse der venösen Alveolarluft. Beitr. z. Klinik der Tuberkulose, Band 89, Heft 1.

H. Knipping: Ueber einige Beziehungen der Lungen-, Herz- und Kreislauffunktion zum Gesamtstoffwechsel vom Standpunkt der Klinik. Klin. Wochenschr. Jahrg. 17, Nr. 2.

H. Knipping: Atmung, Kreislauf und neuromuskulärer Apparat bei der Lungentuberkulose. Beiträge z. Klinik der Tuberkulose, Band 88, Heft 8.

R. Lampe: Ueber die Bestimmung der venösen Sauerstoff- und Kohlensäurespannung. Zeitschrift f. d. ges. experimen. Medizin, Band 101, Heft 2.

F. Peters und G. Zäper: Ueber die Sauerstoffspannung des venösen Mischblutes in Ruhe und bei Muskelarbeit und ihre Bedeutung für die Beurteilung der Kreislauffunktion. Zeitschr. f. klin. Medizin, Band 131, Heft 2 u. 3.

F. Peters: Ueber die Atmungsregulation niederer Tiere (Flußkrebse usw.), Zeitschr. f. vergl. Physiologie, Band 25, Heft 4.

Rein: Einführung in die Physiologie des Menschen.

E. Wissing: Untersuchungen über die Alkalireserve bei Sportsleuten. Zeitschr. für die gesamte experiment. Medizin, Band 49, Heft 1—3.

G. Zäper: Ueber die Bestimmung der Kreislaufleistung als Maß für die Beurteilung der sportl. Leistungsfähigkeit. Klin. Wochenschr., Jahrg. 16, Nr. 49.

G. Zäper: Beitrag zur Frage der intrapulmonalen Oxydationen. Zeitschr. f. d. gesamte experiment. Medizin, Band 99, Heft 1 u. 2.

Lebenslauf.

Am 29. September 1912 wurde ich, Franz Peters, Sohn des praktischen Arztes Dr. med. Josef Peters und seiner Ehefrau Luise geb. Szolder, in Haifa (Syrien) geboren. Kurz vor Beginn des Krieges kehrten meine Eltern nach Deutschland zurück, woselbst mein Vater in Erkelenz seine ärztliche Tätigkeit wieder aufnahm. Nach Absolvierung der Elementarschule besuchte ich das Gymnasium in Erkelenz und legte Ostern 1933 das Zeugnis der Reife ab.

Mein akademisches Studium begann ich in Münster. Am 3. Juli 1935 bestand ich daselbst die ärztliche Vorprüfung. Während der ersten beiden klinischen Semester war ich an der Medizinischen Akademie in Düsseldorf. Vom Winter-Semester 1936/37 studierte ich bis zum Medizinischen Staatsexamen, das ich im Herbsttermin 1938 bestand, in Marburg an der Lahn.

Während der ersten 3 Monate des praktischen Jahres war ich am Hygienischen Institut der Universität, jetzt bin ich zur weiteren Ausbildung an der Universitäts-Hals-, Nasen- und Ohrenklinik.

Meine akademischen Lehrer waren:

in Münster: Beneke, Heiderich, Rosemann, v. Ubisch, Schenk, Schmidt, Weber.

in Düsseldorf: Edens, Frey, Girndt, Hübschmann, Knipping, Schmidt.

in Marburg: Alverdes, Becher, Bersin, Claussen, Grüter, Habs, Kehrer, Kestermann, Klapp, Klewitz, Kretschmer, Loebell, Mattes, Meerwein, Mondry, Pfannenstiel, Ruete, Strecker, Schlieper, Schwenkenbecher, Versé, Uffenorde, Wiskott, Winkler.